

Patent number: JP2001257197

Publication date: 2001-09-21

Inventor: KAWADA HIROKI; YAMANE MIYUKI; YAMASHITA MANABU; NORITOMI TOYOSHIGE; KOJIMA MASAYUKI

Applicant: HITACHI LTD

Classification:

- international: *C23C14/34; C23C16/455; H01L21/205; H01L21/302; H01L21/3065; C23C14/34; C23C16/455; H01L21/02; (IPC1-7): H01L21/3065; C23C14/34; C23C16/455; H01L21/205*

- european:

Application number: JP20000066413 20000310

Priority number(s): JP20000066413 20000310

2007/09/05

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-257197

(P 2 0 0 1 - 2 5 7 1 9 7 A)

(43) 公開日 平成13年9月21日 (2001.9.21)

(51) Int. Cl. ⁷

識別記号

F I

テマコード (参考)

H01L 21/3065

C23C 14/34

M 4K029

C23C 14/34

16/455

4K030

16/455

H01L 21/205

5F004

H01L 21/205

21/302

B 5F045

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全10頁)

(21) 出願番号 特願2000-66413 (P 2000-66413)

(22) 出願日 平成12年3月10日 (2000.3.10)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 川田 洋揮

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72) 発明者 山根 未有希

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(74) 代理人 100093872

弁理士 高崎 芳紘

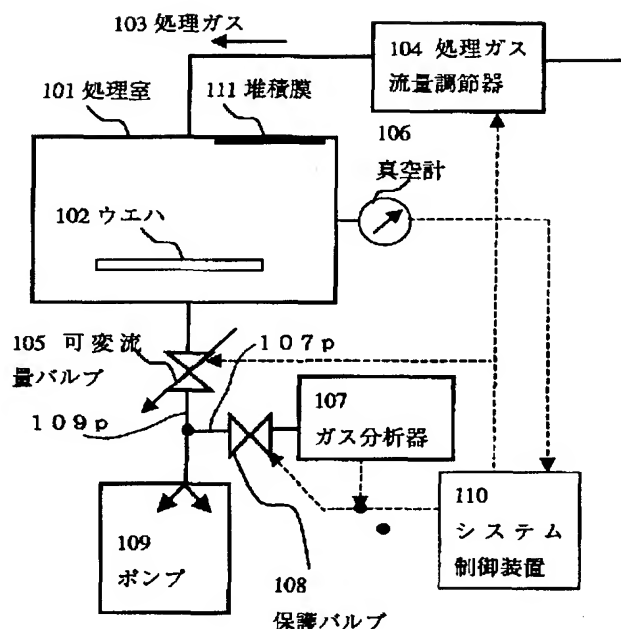
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体デバイスの製造方法および製造装置

(57) 【要約】

【課題】 半導体生産プロセスで用いられる化学反応の進行などの高精度なモニタリングを可能にするとともに、それを実用的なコストで可能とする方法および装置を提供する。

【解決手段】 処理室101と、この処理室での処理に伴う排気を行なうポンプ109と、このポンプに流れる排気ガスの流量を調節するための可変流量弁105とを備えた装置を用い、処理室内に導入される処理ガスによりウエハ102に処理を施すプロセスを含んでいる半導体デバイスの製造方法において、ポンプと可変流量弁との間に質量分析計式のガス分析器107を接続し、ガス分析器に導入される排気ガスの圧力を可変流量弁により所定の範囲に調節した状態としつつ、排気ガスの分析をなし、その分析結果に基づいてウエハ処理のプロセス制御を行なうようにしている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 処理室と、前記処理室での処理に伴う排気を行なうポンプと、前記ポンプに流れる排気ガスの流量を調節するための可変流量弁とを備えた装置を用い、前記処理室内に導入される処理ガスによりウエハに処理を施すプロセスを含んでいる半導体デバイスの製造方法において、前記ポンプと前記可変流量弁との間に質量分析計式のガス分析器を接続し、前記ガス分析器に導入される排気ガスの圧力を前記可変流量弁により所定の範囲に調節した状態としつつ、前記ガス分析器により排気ガスの分析をなし、その分析結果に基づいてウエハ処理のプロセス制御を行なうようにしたことを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【請求項 2】 処理室と、前記処理室での処理に伴う排気を行なうポンプと、前記ポンプに前記処理室から流れる排気ガスの流れを遮断するバルブとを備えた装置を用い、前記処理室内に導入される処理ガスによりウエハに処理を施すプロセスを含んでいる半導体デバイスの製造方法において、前記処理室と前記ポンプをつなぐバイパス流路を前記バルブと並列に設けるとともに、このバイパス流路内の圧力を前記バルブが閉じられた状態で所定の範囲に保つための圧力調整手段を前記バイパス流路に設け、さらに前記バイパス流路に質量分析計式のガス分析器を接続し、前記バルブが閉じられた状態で前記ガス分析器により排気ガスの分析をなし、その分析結果に基づいてウエハ処理のプロセス制御を行なうようにしたことを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【請求項 3】 処理室と、前記処理室での処理に伴う排気を行なう排気系とを備えた装置を用い、前記処理室内に導入される処理ガスによりウエハに処理を施すプロセスを含んでいる半導体デバイスの製造方法において、前記排気系に、前記処理室の圧力と同程度の圧力オーダで作動可能な質量分析計式のガス分析器を接続し、前記ガス分析器へ導入する排気ガスの圧力を、前記排気系に流れる排気ガスの流量調節により、所定の範囲に調節した状態としつつ、前記ガス分析器により排気ガスの分析をなし、その分析結果に基づいてウエハ処理のプロセス制御を行なうようにしたことを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【請求項 4】 処理室と、前記処理室での処理に伴う排気を行なうポンプと、前記ポンプに流れる排気ガスの流量を調節するための可変流量弁とを備えた装置を用い、前記処理室内に導入される処理ガスによりウエハに処理を施すプロセスを含んでいる半導体デバイスの製造方法において、前記ポンプと前記可変流量弁との間に質量分析計式のガス分析器を接続し、下記の式を満足させるように前記可変流量弁のコンダクタンス C を制御することにより、前記ガス分析器に導入される排気ガスの圧力を所定の範囲に調節した状態としつつ、前記ガス分析器により排気ガスの分析をなし、その分析結果に基づいてウ

エハ処理のプロセス制御を行なうようにしたことを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【数 1】

$$P_m > P_c - Q / C$$

ただし、 Q は処理室に導入される処理ガスの流量であり、 P_c は処理室内の圧力であり、 C は可変流量弁のコンダクタンスであり、 P_g はガス分析器への分流点の圧力であり、 P_m はガス分析器の作動に望ましい圧力の上限である。

10 【請求項 5】 ガス分析器は、少なくとも 2 種類のガス成分の分圧値を計測するようにされており、これらの分圧値の比率をプロセス制御に用いるようにされている請求項 1 ～ 請求項 4 の何れか 1 項に記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 6】 ウエハの処理で処理室内に堆積した堆積膜にクリーニング処理を施すプロセスをさらに含んでおり、このクリーニング処理のプロセス制御も排気ガスの分析結果に基づいて行なうようにされている請求項 1 ～ 請求項 5 の何れか 1 項に記載の半導体デバイスの製造方法。

20 【請求項 7】 処理ガスを導入してウエハに処理を施す処理室と、前記処理室での処理に伴う排気を行なう排気系とを備えた半導体デバイスの製造装置において、前記排気系に、前記処理室の圧力と同程度の圧力オーダで作動可能な質量分析計式のガス分析器が接続されるとともに、前記ガス分析器へ導入する排気ガスの圧力を所定の範囲に調節するための圧力調節手段が前記処理室と前記ガス分析器の間に設けられていることを特徴とする半導体デバイスの製造装置。

30 【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体デバイスの製造方法および製造装置に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】 半導体デバイスの製造プロセスにおいては化学反応などを利用したさまざまな処理、例えばエッチング処理やスパッタリング処理あるいは CVD 処理などがウエハに施される。これらのウエハ処理においては、その反応の進行状態をモニタリングし、その結果に基づいてプロセス制御を行なうことが重要であり、特に、一層の高集積化に伴って微細構造化が進む半導体デバイスを高品質で生産性よく製造するについては、正確なモニタリングの必要性がさらに高まっている。

40 【0 0 0 3】 また化学反応などを利用したウエハ処理には、処理室内に生じる堆積膜に関連する問題もある。すなわちウエハ処理に伴う反応生成物を処理室から完全に真空排気することは難しく、処理室の内壁や部品表面に反応生成物が付着して堆積膜を形成してしまうのを避けられない。主な反応生成物としては、例えばエッチングプロセスでは、塩素系、臭素系、碲素系の化合物やエッ

チング対象となる金属系の化合物、あるいはエッチング処理を施したくない部分をマスクするために使用するレジスト等の有機物系の化合物である。処理室内に反応生成物の堆積膜が形成されると、そこからは塵埃が発生する。またエッチング処理を繰り返し行くと、堆積膜は徐々に厚くなり、それが付着している処理室の内壁や部品表面から剥離しやすくなる。そして剥離すると、その剥離片がウエハ上に脱落し、例えば断線などの原因となってしまう。さらに堆積膜からはガスも発生し、このガスによりプロセスが不安定となり、例えばエッチングの再現性などが低下し、その結果、歩留まりの低下を招いてしまうという問題も生じる。これらは何れも生産性の低下ひいては生産コストの増大につながる。そのため堆積膜の状態をモニタしたり、これを除去するためのクリーニングプロセスの進行状況をモニタすることは、生産効率を向上させるうえで重要である。

【0004】以上のようにさまざまなプロセスで必要とされるモニタリングをプロセスに影響させずに行なう有力な手段としてガス分析がある。このガス分析についてはすでに多くの提案がなされている。例えば、特開平 8 - 3 0 6 6 7 1 号公報には、シリコン酸化膜の選択エッチングプロセスにおいて、弗化炭素系ガスによるプラズマ中で生成された一弗化炭素ラジカルと二弗化炭素ラジカルの量を測定し、その比からエッチング条件を制御し、これにより高選択エッチングを行なうことが提案されている。また例えば特開平 8 - 2 2 2 1 8 2 号公報には、スパッタリングプロセスにおいて、処理室内のガス成分をより正確に検知することによって、形成する配線膜をより良質でかつ安定させる方式が記載されている。この他にも CVD プロセスなどで用いられる減圧処理装置の処理室における漏れを検査するためにガス成分のモニタリングを行なうことが提案されている。例えば、特開平 8 - 4 5 8 5 6 号公報に記載されるように、真空排気後の処理室内の酸素ガス分圧と窒素ガス分圧を測定し、これらの比から処理室の漏れ（外部リーク）を検出する方法がその例である。さらに例えば特開平 6 - 2 7 5 5 6 2 号公報に記載されるように、フォトリソのアッシング処理のモニタにガス分析を利用する方法も提案されている。

【0005】以上の例に見られるモニタリングのためのガス分析は何れも四重極型質量分析計を用いる方法である。四重極型質量分析計は、分析するガスをイオン化し、そのイオンの質量とイオン価数との比 (m/e) のスペクトルを得るものであり、その動作可能な圧力に上限がある。すなわち圧力が高すぎると、イオン化するための電子を供給しているフィラメントが焼き切れてしまう。また高い圧力中ではイオン化したガス分子が検出器に到達するまでに他のガス分子と衝突してしまう確率が高くなり、検出器まで到達できるイオンが減少し、正しいイオンの量を検出できなくなってしまう。この動作可

能な上限圧力に関して、上記各公知技術が前提としている四重極型質量分析計は、何れも 1 0 - 3 P a (パスカル) レベルである。しかるに、一般的な半導体デバイス製造プロセスにおける反応処理室の処理中における圧力条件は例えば 1 ~ 2 P a 程度であり、その圧力オーダが大きく異なっている。

【0006】そこで、上記特開平 8 - 3 0 6 6 7 1 号や特開平 8 - 2 2 2 1 8 2 号それに特開平 8 - 4 5 8 5 6 号の各公報に記載されるように、処理室とは別に設けた差動排気チャンバに四重極質量分析計を入れ、その内部を真空排気しながら分析する方式が必要となる。この方式では、処理室内のガスがオリフィスを通して差動排気チャンバに導入され、オリフィスによりガス流量が微量になるように流量制限されているので、処理室内の圧力が例えば 1 P a 程度でも、差動排気チャンバ内の圧力は 1 0 - 3 P a 以下となるので、ガス分析を行うことが可能となる。

【0007】以上のような質量分析計を用いる方法の他に、例えば特開平 1 - 2 8 6 3 0 7 号公報や特開平 8 - 2 1 8 1 8 6 号公報に開示されるように、発光スペクトル分析方式を用いる例も知られている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上記のように反応プロセスのモニタリングのためにガス分析を用いることに関しては多くの提案がすでになされている。しかし実際の生産ラインでガス分析によるモニタリングが実用化されている例は未だないのが実情といえる。それにはさまざまな理由が考えられる。質量分析方式の場合であれば、例えば特開平 8 - 2 2 2 1 8 2 号公報における従来技術の欄でも説明されているように、差動排気を用いると、処理室内からサンプリングされたガス中の不純物ガスのような極微量のガス成分の濃度を測定したい場合に、差動排気した後にそのガス濃度が極端に低くなり、検出が非常に難しくなるということがある。

【0009】またサンプリングされたガスが差動排気チャンバ内で吸着されることによって残留し、その後の測定に悪影響を与えるという問題もある。例えば、水蒸気などは差動排気チャンバの材料として通常使用されるステンレスの表面に吸着され、長い時間をかけて脱離と吸着を繰り返して残留する。その結果、サンプリングされたガス中の水蒸気と重なって、濃度計測値に誤差を与える要因となる。これを避けるためには、定期的にステンレスチャンバをベーキングしなければならないが、その間はモニタリングは行えなくなるので、運用が難しく生産コストの上昇につながってしまう。

【0010】また差動排気チャンバとそれを排気するための高真空用のポンプを組み合わせたユニットは、小型化が難しく、一般的な半導体デバイスの製造装置にこれを組み付けて使用するには、クリーンルームにおけるスペース的な問題により弊害を伴うことが多い。それにま

10

20

30

40

50

た、高真空を必要とする差動排気系は、高価であり、コスト的な問題があるだけでなく、現状では実用的な信頼性にも乏しいという問題もある。

【0011】一方、発光スペクトル分析方式については、上記したような質量分析方式に見られるような圧力に関する問題はない。しかし発光スペクトル分析方式の場合には、発光スペクトル分析器に加えて、サンプリングガスをプラズマ化する必要があることからプラズマ化装置を必要とする。そして発光スペクトル分析器自体が質量分析に比べて非常に高価であり、またプラズマ化装置も高価である。このため装置全体が非常に高価になってしまい、装置全体の大型化も避けられない。その結果、その実用性に問題を残すことになる。

【0012】したがって本発明の目的は、半導体生産プロセスで用いられる化学反応の進行などの高精度なモニタリングを可能にするとともに、それを実用的なコストで可能とし、この高精度なモニタリングに基づく制御により例えば $0.13\mu\text{m}$ 以下といった微細構造を持つ半導体デバイスでも高品質に且つ効率よく生産することを可能とする方法および装置を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記目的のために本発明は、処理室と、前記処理室での処理に伴う排気を行なうポンプと、前記ポンプに流れる排気ガスの流量を調節するための可変流量弁とを備えた装置を用い、前記処理室内に導入される処理ガスによりウエハに処理を施すプロセスを含んでいる半導体デバイスの製造方法において、前記ポンプと前記可変流量弁との間に質量分析計式のガス分析器を接続し、前記ガス分析器に導入される排気ガスの圧力を前記可変流量弁により所定の範囲に調節した状態としつつ、前記ガス分析器により排気ガスの分析をなし、その分析結果に基づいてウエハ処理のプロセス制御を行なうようにしたことを特徴としている。

【0014】また本発明は、処理室と、前記処理室での処理に伴う排気を行なうポンプと、前記ポンプに前記処理室から流れる排気ガスの流れを遮断するバルブとを備えた装置を用い、前記処理室内に導入される処理ガスによりウエハに処理を施すプロセスを含んでいる半導体デバイスの製造方法において、前記処理室と前記ポンプをつなぐバイパス流路を前記バルブと並列に設けるとともに、このバイパス流路内の圧力を前記バルブが閉じられた状態で所定の範囲に保つための圧力調整手段を前記バイパス流路に設け、さらに前記バイパス流路に質量分析計式のガス分析器を接続し、前記バルブが閉じられた状態で前記ガス分析器により排気ガスの分析をなし、その分析結果に基づいてウエハ処理のプロセス制御を行なうようにしたことを特徴としている。

【0015】また本発明は、処理室と、前記処理室での処理に伴う排気を行なう排気系とを備えた装置を用い、前記処理室内に導入される処理ガスによりウエハに処理

を施すプロセスを含んでいる半導体デバイスの製造方法において、前記排気系に、前記処理室の圧力と同程度の圧力オーダで作動可能な質量分析計式のガス分析器を接続し、前記ガス分析器へ導入する排気ガスの圧力を、前記排気系に流れる排気ガスの流量調節により、所定の範囲に調節した状態としつつ、前記ガス分析器により排気ガスの分析をなし、その分析結果に基づいてウエハ処理のプロセス制御を行なうようにしたことを特徴としている。

【0016】また本発明は、処理室と、前記処理室での処理に伴う排気を行なうポンプと、前記ポンプに流れる排気ガスの流量を調節するための可変流量弁とを備えた装置を用い、前記処理室内に導入される処理ガスによりウエハに処理を施すプロセスを含んでいる半導体デバイスの製造方法において、前記ポンプと前記可変流量弁との間に質量分析計式のガス分析器を接続し、下記の式を満足させるように前記可変流量弁のコンダクタンス C を制御することにより、前記ガス分析器に導入される排気ガスの圧力を所定の範囲に調節した状態としつつ、前記ガス分析器により排気ガスの分析をなし、その分析結果に基づいてウエハ処理のプロセス制御を行なうようにしたことを特徴としている。

【数2】

$$P_m > P_c - Q/C$$

ただし、 Q は処理室に導入される処理ガスの流量であり、 P_c は処理室内の圧力であり、 C は可変流量弁のコンダクタンスであり、 P_g はガス分析器への分流点の圧力であり、 P_m はガス分析器の作動に望ましい圧力の上限である。

【0017】また本発明は、上記各製造方法について、ガス分析器は、少なくとも2種類のガス成分の分圧値を計測するようにされており、これらの分圧値の比率をプロセス制御に用いることを好ましい形態としている。

【0018】また本発明は、上記各製造方法について、ウエハの処理で処理室内に堆積した堆積膜にクリーニング処理を施すプロセスをさらに含んでおり、このクリーニング処理のプロセス制御も排気ガスの分析結果に基づいて行なうことを好ましい形態としている。

【0019】また本発明は、処理ガスを導入してウエハに処理を施す処理室と、前記処理室での処理に伴う排気を行なう排気系とを備えた半導体デバイスの製造装置において、前記排気系に、前記処理室の圧力と同程度の圧力オーダで作動可能な質量分析計式のガス分析器が接続されるとともに、前記ガス分析器へ導入する排気ガスの圧力を所定の範囲に調節するための圧力調節手段が前記処理室と前記ガス分析器の間に設けられていることを特徴としている。

【0020】

【発明の実施の形態】図1に第1の実施形態における半導体デバイス製造装置としてエッチング処理装置の構成

を模式化して示す。本エッチング処理装置は、例えばマイクロ波プラズマ方式による金属薄膜のエッチング処理に用いられる。そのために処理室101を備えており、この処理室101に搬入されたウエハ102にエッチング処理を施す。処理室101には、処理ガス103が処理ガス流量調節器104でその流量を調節されながら導かれる。処理室101に導かれた処理ガス103は、処理室101に導入される高周波やマイクロ波などによってプラズマ化され、このプラズマによりウエハ102へのエッチング処理がなされる。このエッチング処理に際しては、ウエハ102や処理室101の内面あるいは処理室101内の部品などが化学反応を起こし、それによる反応生成ガスが処理室101内に発生する。また処理室101には漏れなどの原因によって外から大気が入る。さらに処理ガス103の一部にはプラズマ化されないものもある。これらの反応生成ガスや流入外気あるいは残留処理ガスなどは、可変流量バルブ105とポンプ109からなる排気系により排気される。処理室101の内部圧力は真空計106によって計測され、その値が所望の圧力、例えば1~2Paに保たれるように、処理ガス103の導入量や可変流量バルブ105のコンダクタンスにより調節されている。これら制御は、マイクロ波や高周波の制御等も含めて、システム制御装置110によってなされている。

【0021】本発明ではこのような製造装置にガス分析器107を設け、このガス分析器107により排気ガスの成分を計測するようにしている。そしてその計測値をシステム制御装置110でモニタし、その結果に基づいてプロセスの制御、例えばエッチング処理の終了時期の判定や反応状態の制御などを行なうようにしている。ガス分析器107は、可変流量バルブ105とポンプ109の間に接続してある。具体的には、可変流量バルブ105とポンプ109をつなぐ排気配管109pに分岐配管107pを接続し、この分岐配管107pにガス分析器107を接続し、さらに分岐配管107pの途中に保護バルブ108を設けている。ガス分析器107は、四重極型質量分析計である。この点では上述した従来の考え方と同じであるが、ただその作動圧力上限が処理室101における処理中の通常圧力と同オーダーであるという点で従来と異なっている。具体的には例えば1Paレベルである。このような高圧での作動を可能とする四重極型質量分析計としては、例えば“High-pressure effects in miniature arrays of quadrupole analyzers for residual gas analysis”, R.J.Ferran and S.Boumsellek, Journal of Vacuum Science and Technology, P. 1258-1265, A14(3), 1996に報告されているような質量分析計を用いることができる。

【0022】本発明は、上記のように処理室101の通常圧力と同オーダーの作動圧力限界を持つ四重極型質量分析計をガス分析器107に用い、これを可変流量バル

ブ105とポンプ109の間に接続することを特徴の一つとしている。そしてこのような構成としたことにより、高精度なガス分析によるモニタリングを実用的なコストで行なうことが可能となる。以下このことについて説明する。ガス分析器107の動作可能な圧力の上限は上記のように1Paレベルである。これは処理室101における処理中の通常圧力1~2Paと同じオーダーである。しかし質量分析計をその作動上限圧力近辺で使い続けると、その寿命を大幅に縮めてしまう。したがって例えばガス分析器107の実際の作動上限圧力が1Paであれば、この1Paを前提に、実用的な耐久性が得られるような圧力で用いることができるような条件を与える必要がある。

【0023】そのためには処理室101とガス分析器107の間に圧力差を形成する手段が必要になる。この圧力差を上述の従来技術のように、それ専用の排気ポンプを用いる作動排気系などで行なうことは装置の大型化やコストの増大から実用的でない。このような問題を踏まえて本願発明者等は研究を進め、その結果、ガス分析器107の圧力条件が処理室101のそれとわずかな差であることに着目し、処理室101が常備している排気系を利用するだけで、ガス分析器107に望ましい圧力条件を与えうること、つまり本実施形態におけるエッチング処理装置に限らず、ガス分析によるモニタリングを必要とするような半導体製造装置は、その処理室に可変流量バルブとポンプからなる排気系を一般的に備えているので、この排気系を利用するだけで、ガス分析器107のような高圧力型質量分析計に望ましい圧力条件を与えることを見出した。具体的には以下の通りである。

【0024】処理ガス103の流量をQ、処理室101の圧力をPc、可変流量バルブ105のコンダクタンスをC、ガス分析器107への分流点の圧力をPgとすると、コンダクタンスの定義より、下記の式(1)が得られる。

$$\text{【数3】} \quad Q = C(P_c - P_g) \quad (1)$$

一方、ガス分析器107に望ましい圧力の上限をPmとすれば、下記の式(2)を満たすことが必要である。

$$\text{【数4】} \quad P_m > P_g \quad (2)$$

これを(1)式に代入すると、下記の式(3)の関係が得られる。

$$\text{【数5】} \quad P_m > P_c - Q/C \quad (3)$$

したがってこの式(3)なる関係が成り立つように右辺のパラメータを制御すれば、ガス分析器107を動作させることが可能となる。

【0025】ここで、処理室101の圧力Pcや処理ガス103の流量Qはエッチング処理の結果に影響を及ぼすのが一般的であり、したがって自由なパラメータとな

らないことが多い。そこで通常は、コンダクタンスCの制御で上記式(3)を満たすようにする。例えば、 $P_c = 2 \text{ Pa}$ 、 $Q = 300 \text{ sccm}$ ($= 0.51 \text{ Pa} \cdot \text{立方m/s}$)のプロセスにおいて、 $P_m = 1 \text{ Pa}$ であるガス分析器107を使用している場合には、 $C = 0.51 \text{ Pa} \cdot \text{立方m/s}$ ($= 510 \text{ リットル/s}$)となるように、可変流量バルブ105のコンダクタンスを設定すればよい。この際に注意しなければならないのは、処理室101内のプラズマによってガスの解離や生成が進み、可変流量バルブ105を通して排気されるガスの流量が増えることがあるということである。そこで、真空計106によって圧力をモニタしながら、Cを随時制御する必要があり、場合によっては上記で計算した値よりも大きな値にCを設定しなければならないこともある。つまり処理室101の圧力 P_c が最初の前提よりも増大する方向に変化した場合にはその変化に応じて上記式(3)を満たすようなCに変更する制御をフィードバック的に行う必要がある。

【0026】ただ、Cをポンプ109の実効排気速度より大きくしても、 P_g を下げる効果は得られない。なぜならば、この場合に処理室101から排気されるガスの流量は、可変流量バルブ105のコンダクタンスCではなくて、ポンプ109の実効排気速度に制限されてしまうからである。そこでポンプ109が十分な実効排気速度を有していることが望ましいことになる。具体的には上記のような条件の場合であれば、実効排気速度が1.5立方m/s ($= 1500 \text{ リットル/s}$)程度のポンプ、例えばターボ分子ポンプを使用すれば、実際の処理においてQが3倍以上まで増大することはないことから、Cを大きくすることによって P_g を1Pa以下に調節することが可能となる。

【0027】可変流量バルブ105には、例えばガスの流路を板などで遮る方式のものをを用いることができる。このような可変流量バルブ105におけるコンダクタンスCは近似的には流路の断面積に比例するので、ポンプ109の入り口とほぼ同じ断面積を持ち、かつその流路断面積の約3分の2を遮ることができる可変流量バルブ105を用いれば、ガス分析器107を動作させることが可能となる。

【0028】以上のようにしてガス分析器107がプロセス中などにも動作可能となり、それによるモニタリング結果をもとにして、プロセス制御をより精密に行なうことができるようになる。そしてこのことで、より微細構造を持った高性能な半導体デバイスを高い生産効率で製造することが可能となる。また本発明によるガス分析器107は、上記のようにそれ専用の排気系を必要としない。そのため、分析系の小型化を図れ、また低コスト化も可能である。このことは、貴重なクリーンルームのスペースの有効活用なども含めて、生産効率や生産コストの面で大きな利点となる。

【0029】ここで、何らかの理由でガス分析器107からの排気系に予想外の高圧を突発的に生じることも考えられる。そのような事態を生じた際には保護バルブ108を閉じ、ガス分析器107に過剰な圧力がかからないようにしてガス分析器107を保護する。この際には保護バルブ108を閉じると同時に、ガス分析器107に内蔵のガスイオン化用のフィラメントへの通電を遮断できるようにすとさらに好ましい。このような保護手段を設けることで、突発的な事態があってもガス分析器107に故障を招くようなことを有効に防止することができる。このことはランニングコストの低減などに有用である。

【0030】以下に、上記のようなエッチング処理装置による配線形成処理を、図2に一例として示すような半導体メモリについて行なうプロセスを例にとりて説明する。プロセスの流れは図3に示す通りである。図1のウエハ102の表面には図2のようなデバイス構造が形成されている。このデバイス構造は、ビット線201、ワード線202、蓄積電極203を含むメモリ構造を含み、その上に層間絶縁膜204が形成されている。その上部には、すでに配線用のアルミ薄膜205が形成されており、その上がレジスト膜206で被覆されている。ここで、配線用の導電性薄膜はタングステン薄膜やタンタル薄膜などとされることもある。エッチング処理ではアルミ薄膜205の一部分を除去して所定の配線パターンを形成する。そのために所定の配線パターンに対応したパターンでレジスト膜206に開口が設けられている。

【0031】エッチング処理を行うには、エッチングガス(処理ガス103)を処理室101内に導入する。このエッチングガスは、例えば分圧にして約1.2Paの塩素ガスと分圧にして約1.0Paの三塩化硼素ガスとの混合ガスである。また処理室101には例えば周波数が約2.45GHzで800Wのマイクロ波を導入し、これによりエッチング用のプラズマを発生させる。これと同時にウエハ102の下面側に周波数が2MHzの高周波を60Wで印加し、エッチング処理を開始する(ステップ301)。エッチング処理を開始すると、アルミ薄膜205からレジスト膜206で覆われていない部分がエッチングで除去され、除去された部分については下地の層間絶縁膜204が露出する。エッチングで除去された物質(アルミニウム)は、ガス状化合物となって処理室101から可変流量バルブ105とポンプ109からなる排気系により排気される。このエッチング処理は、アルミ薄膜205が最適状態にエッチングされるまで継続される。エッチング処理が終了すると、マイクロ波の導入、高周波の印加およびエッチングガスの導入が停止され、ウエハ102が処理室101から搬出される。

【0032】このようなエッチング処理は、その時間が

短すぎるとエッチングが不十分となって配線構造に欠陥を生じるおそれがある。また処理時間が長すぎても下地の層間絶縁膜 204 にまでエッチングがなされ、やはり配線構造の欠陥につながる可能性がある。そのためエッチング処理の終了時期を正確に判定することが、より安定的な製造プロセスとするうえで非常に重要なことになる。本発明では上で説明したガス分析器 107 による排気ガスのガス成分の測定を通じてエッチング状態をモニタリングし、これによりエッチング処理の終了時期を正確に判定できるようにしている。

【0033】具体的には、アルミ薄膜 205 が処理ガス 103 と反応して生じている塩化アルミニウム化合物が排気ガス中に含まれている量をガス分析器 107 で計測する。ガス分析器 107 による塩化アルミニウム化合物の計測は、塩化アルミニウムイオンの計測としてなされる（ステップ 302）。すなわちガス分析器 107 においては、そのフィラメントから電子を計測ガスに照射することで計測ガスをイオン化し、これで生じるイオンを計測するようになっており、塩化アルミニウム化合物の場合には、これが解離するなどして塩化アルミニウムイオンを生じ、この塩化アルミニウムイオンが計測される。塩化アルミニウムイオンには、質量をイオン価数で割った値つまり m/e 値が 62 と 64 のものがある。これは、塩素原子に質量数が 35 と 37 である同位体が存在するためである。このうち、35 の塩素原子の方が存在比が大きいのので、塩化アルミニウムイオンとしては $m/e = 62$ の信号をモニタするようにすれば、感度よく測定することができる。

【0034】ところで、ガス分析器 107 の感度は徐々に低下する可能性があり、これを補正できるようにするのが望ましい。そのためには、計測されるレベルがほぼ一定か、既知である信号を計測し、それらとの比率をとるようにする。例えば、プロセスに使用している三塩化硼素ガスや塩素ガスは、プロセス条件が一定であれば常に一定量が処理室 101 に導入される。またエッチング処理中における可変流量バルブ 105 のコンダクタンスもほぼ一定の値になるのが通常である。したがってガス分析器 107 で計測される三塩化硼素ガスや塩素ガスの信号レベルはほぼ一定になる。そこで一例として、塩素ガスの信号との比率を求める（ステップ 303）。塩素ガスは、 $m/e = 35$ の信号として計測される。つまり $m/e = 35$ と $m/e = 62$ の比率を求める。本実施形態では、 $m/e = 62$ の信号を $m/e = 35$ の信号で割った値（R）が、0.1 以下になるところでエッチングが適正に終了したものとしている。そこでステップ 304 で $R < 0.1$ の判定を行い、これが満たされていればエッチングを終了させる（ステップ 305）。

【0035】ガス分析器 107 を用いての反応進行状態のモニタリングは、エッチングの終了時期の判定だけでなく、例えばプラズマ形成用のマイクロ波のパワーやウ

エハ 102 に印加する高周波の強弱の制御など、プロセス全般の制御に用いることができる。これらの制御はシステム制御装置 110 により行なわれる。そしてこのような制御を行なうことで、エッチング処理をより正確な条件で行なうことができ、したがって、より微細な構造を持つ半導体デバイスでも安定的に製造することが可能となる。また半導体デバイスの生産における歩留りを向上させることで生産コストの低減を図れる。

【0036】以上のようなエッチング処理は、処理対象のウエハ 102 の枚数に応じて繰り返行なわれる。エッチング処理が繰り返行なわれると、処理室 101 の内面や処理室 101 内の部品の表面などにエッチング反応による反応生成物が図 1 に示す堆積膜 111 のようにして付着してくる。本実施形態におけるエッチング処理の場合であれば、堆積膜 111 を形成する主要な成分は、処理ガス 103 に含まれる三塩化硼素ガスと処理室 101 内の部品材料として使われている石英とが反応して生じる硼素酸化物である。エッチング処理の繰り返により堆積膜 111 が一定以上まで成長すると、そこから塵埃や剥離物などが発生しやすくなり、これらがデバイスのエッチング対象部分に付着すると、エッチング不良の原因となる。そこで堆積膜 111 を除去したり低減したりする必要がある。

【0037】堆積膜 111 中の化合物を除去する方法としてプラズマクリーニングがある。そこでエッチング処理を規定回数繰り返した後、またはガス分析器 107 を通じたモニタリングにより堆積膜 111 が一定以上に成長していることを検知して場合にはプラズマクリーニングを行なう。プラズマクリーニングには例えば六フッ化硫黄を用いる。具体的には分圧にして約 1 Pa 程度の六フッ化硫黄を含むクリーニング用処理ガスを処理室 101 に導入し、これを例えば 2.45 GHz、800 W のマイクロ波でプラズマ化してプラズマクリーニングを開始する（ステップ 306）。プラズマクリーニングが開始すると、堆積膜 111 中の硼素酸化物は分解されてフッ化硼素などとしてガス状になり、排気系により処理室 101 から排出される。

【0038】このようなプラズマクリーニングは、その処理時間が短すぎると堆積膜 111 の除去が不十分となり、後のプロセスにおける異物発生量が増えてしまうし、逆に長すぎると生産ラインの効率（スループット）を低下させてしまう。つまりクリーニング処理時間が短すぎても長すぎても生産効率の低下につながってしまう。したがってプラズマクリーニングにおいてもその終了時期を正確に判定することが重要となる。

【0039】そこで、プラズマクリーニングによる排気ガス中に含まれる特定の成分、具体的にはフッ化硼素をガス分析器 107 で計測することでプラズマクリーニングの処理状態をモニタリングし、これによりプラズマクリーニングの終了時期を的確に判定するようにしてい

る。モニタリングの具体的な内容は以下の通りである。硼素には同位体が存在するため、フッ化硼素イオンとしては m/e が29と30のものが検出される。このうち、存在比の大きな $m/e=30$ の信号を検出することで、フッ化硼素イオンを計測する(ステップ307)。この場合も上記と同様に、塩素イオンの計測も行い、これとフッ化硼素の比(r)を求める。つまり $m/e=35$ と $m/e=30$ の比率を求める。本実施形態では、 $m/e=30$ の信号を $m/e=35$ の信号で割った値

(r)が0.3以下になるところでクリーニングが適正に終了したものとしている。そこでステップ309で $r<0.3$ の判定を行い、これが満たされていればクリーニングを終了させる(ステップ310)。

【0040】以上の実施形態ではエッチングプロセスとプラズマクリーニングプロセスについて処理状態をモニタリングする例としてあったが、本発明の適用範囲はこれらに限られるものでない。例えば処理室101の漏れをチェックするのも用いることができる。その場合には、処理室101からの排気中における水蒸気の量、具体的には $m/e=18$ の信号レベルの増減を計測することで、外気の漏入の有無を判定することができる。このように処理室101の漏れを的確に判定することで、対策をより迅速にとることができるようになり、処理室101の漏れに起因する不良の発生を未然に防止することが可能となる。また種類の異なる処理を同じ処理室101で順次行なう場合に、前の処理における残留物が後の処理に悪影響を及ぼす事態を防止するのも用いることができる。例えばタングステン薄膜のエッチングを行なった後でアルミ薄膜のエッチングを行なうような場合を例にとる。この場合、タングステン薄膜のエッチングにはフッ素を含むガスが使用され、そのフッ素がフッ化物として処理室101内に吸着されて残留する。そしてこのフッ化物がフッ素ガスを使用しないアルミ薄膜のエッチング処理プロセスに悪影響を及ぼし、微細なデバイス構造の加工を困難にすることが考えられる。そこで、タングステン薄膜のエッチングとアルミ薄膜のエッチングの間に、処理室101の残留ガス分析を行なうことでフッ化物の残留状態を把握し、もしそれが基準値、つまりアルミ薄膜のエッチング処理に悪影響を及ぼすようなレベル以上であれば、アルミ薄膜のエッチング処理に先立って例えば塩化水素ガスを用いたプラズマクリーニングなどの適切な処置をとるようにする。残留フッ化物の量は、処理室101からの排気中におけるフッ酸ガスの量として知ることができる。つまり $m/e=20$ の信号をモニタすることで残留フッ化物のレベルを把握できる。

【0041】図4に第2の実施形態によるエッチング処理装置の構成を示す。本実施形態と第1の実施形態との相違は、処理室101の排気系が第1の実施形態における可変流量バルブ105に代えて、コンダクタンスの大きい流量固定の主バルブ401を備えていること、そし

てこれに伴って排気系へのガス分析器107の接続の仕方を変えていることである。具体的には、処理室101とポンプ109をつなぐバイパス流路402をバルブ401に並列に設け、このバイパス流路402にガス分析器107を接続している。またバイパス流路402の途中に圧力調整手段として流量制限器403を設け、この流量制限器403による固定的な流量調節によりガス分析器107への圧力をガス分析器107の作動に望ましい圧力となるようにしている。このように流量制限器403を用いて圧力調整を行なう構成の他に、バイパス流路402を適切に設計することでも必要な圧力調整を得ることが可能である。すなわちバイパス流路402を細長い管状にすれば、処理室101から遠ざかるにつれた圧力勾配をバイパス流路402中に生じさせることができ、したがってガス分析器107の取付け位置を適切に選ぶことにより、その部分の圧力を適正化することが可能になる。この場合にはバイパス流路402自体が圧力調整手段の役割も負うことになる。

【0042】このようなエッチング処理装置では、処理室101で処理に先立って行なう処理室101の真空化の際には主バルブ401を開けて排気を行い、処理室101で処理を行なう際には主バルブ401を閉じ、バイパス流路402を通して排気する。そしてこの排気においては、上記のように流量制限器403による固定的な流量調節でガス分析器107への圧力をガス分析器107の作動に望ましい圧力となる。本実施形態によるエッチング処理装置を用いたエッチング処理は、上記のような排気系の作動方式を除いて、第1の実施形態に関して説明したのと同様である。

【0043】以上、本発明の好ましい実施形態をエッチング処理装置と、それによるアルミ薄膜に対する配線形成処理プロセスに関して説明したが、本発明がこの他の装置やプロセスにも適用できることは特に説明するまでもなく明らかなことである。簡単に例を挙げると、例えばエッチングによる配線形成処理であれば、タングステンやプラチナ等の薄膜のエッチング処理に適用できる。またエッチング処理の他に、例えばCVDプロセスやスパッタリングプロセスなどにも適用できる。一般的に言えば、そのプロセスにおける処理により発生するガスの成分分析を行なうことでその処理の状態をモニタ可能なプロセスであれば本発明を適用することが可能である。

【0044】ここで、本発明におけるガス分析系は、上での説明から理解できるように、非常にコンパクトなものである。このことはすでに説明したように、貴重なクリーンルームのスペースの有効活用などとして生産効率や生産コストの面で大きな利点となるものであるが、この他にも大きな利点をもたらす。それは、既設の半導体生産設備に組み込むことが容易であるということである。すなわち、わずかな取り付けスペースを必要とするだけであり、また組み込むための加工も非常に簡単なも

ので済む。このため既設の半導体生産設備に実質的な改変を加えることなく容易に組み込むことができる。このことは、既設の半導体生産設備において、それによる半導体デバイスの性能向上や生産性の向上を容易に図れることにつながる。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、半導体生産プロセスで用いられる化学反応の進行などの高精度なモニタリングが可能となり、しかもそれを実用的なコストで可能とする。そしてこの高精度なモニタリングに基づく制御を行なうことで、より微細な構造を有する半導体デバイスを高品質に且つ効率よく生産することを可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態におけるエッチング処理装置の模式化した構成図である。

【図2】第1の実施形態におけるエッチング処理装置で処理対象とする半導体デバイスの部分断面図である。

【図3】第1の実施形態におけるエッチング処理のフロ

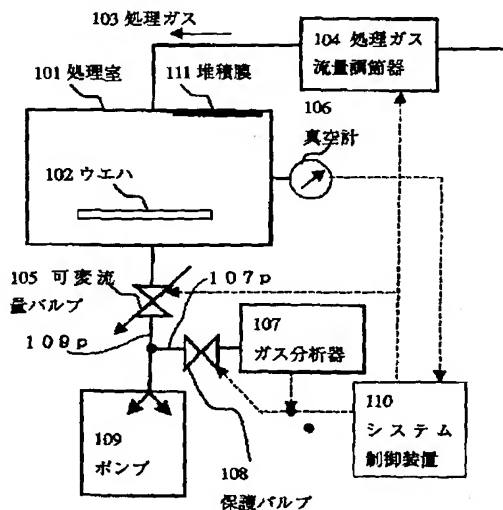
ーチャートである。

【図4】第2の実施形態におけるエッチング処理装置の模式化した構成図である。

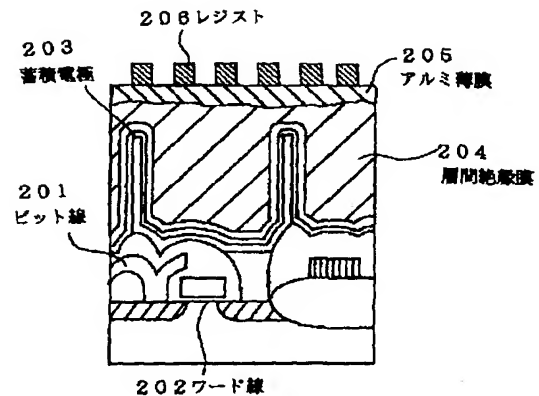
【符号の説明】

- 101 処理室
- 102 ウエハ
- 103 処理ガス
- 104 処理ガス流量調節器
- 105 可変流量バルブ
- 106 真空計
- 107 ガス分析器
- 108 保護バルブ
- 109 ポンプ
- 110 システム制御装置
- 111 堆積膜
- 401 主バルブ
- 402 バイパス路
- 403 流量制限器（圧力調整手段）

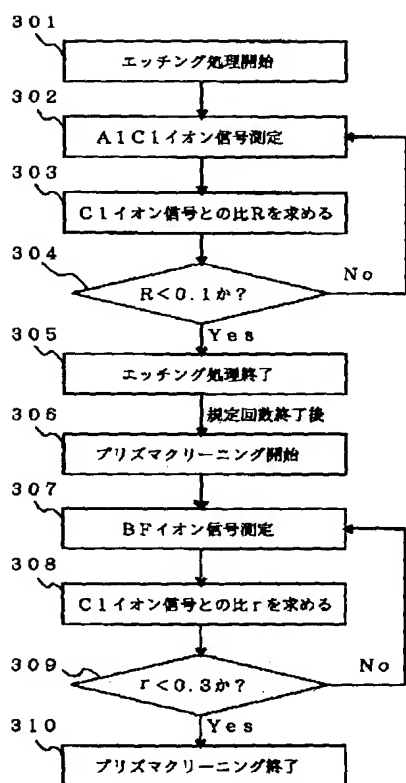
【図1】



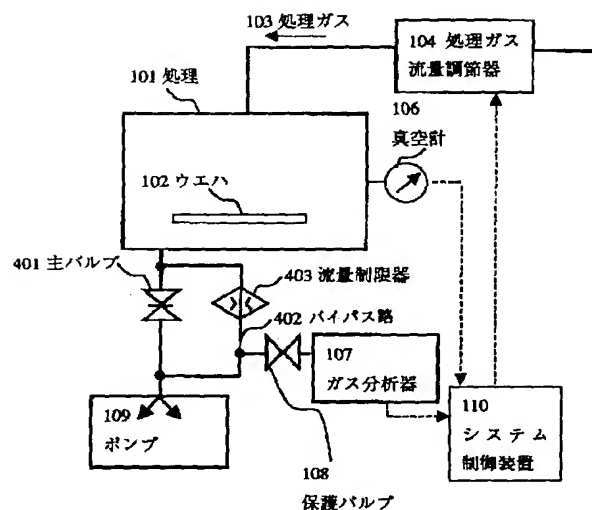
【図2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 山下 学
東京都青梅市新町六丁目16番地の2 株式会社日立製作所デバイス開発センタ内

(72)発明者 乗富 豊茂
東京都青梅市新町六丁目16番地の2 株式会社日立製作所デバイス開発センタ内

(72)発明者 児島 雅之
東京都小平市上水本町五丁目20番1号 株式会社日立製作所半導体グループ内

Fターム(参考) 4K029 BD01 CA06 DA02 EA03 EA04 FA09
4K030 DA04 EA11 HA12 JA05 JA09 KA39 KA41 KA45 LA15
5F004 AA15 BB14 BC02 CA09 CB04 DA04 DA11 DA18 DB08 DB09 DB10 EB02
5F045 AA08 AA19 EB06 EG02 GB07 GB15